

KARAKTERISASI PROSES PENGERINGAN JAGUNG DENGAN METODE *MIXED-ADSORPTION DRYING* MENGUNAKAN ZEOLITE PADA UNGGUN TERFLUIDISASI

Hargono^{*}), Mohamad Djaeni, dan Luqman Buchori

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, Tembalang-Semarang, 50275, Telp/fax: (024)7460058/(024)76480675

^{*}Penulis korespondensi : hargono_tkundip@yahoo.co.id

Abstract

CHARACTERIZATION OF CORN DRYING PROCESS USING MIXED-ADSORPTION DRYING METHOD UTILIZING ZEOLITE PARTICLES IN A FLUIDIZED BED SYSTEM.

Corn (Zea mays L.) representing important food requirement besides paddy and wheat. Handling of time after rice harvest become the priority so that corn quality can be awaked better. Drying process by adsorption-fluidized bed become a choice to replace the conventional corn drying systems. This research aim to look for the effect of the inlet air temperature, type of zeolite, and ratio of corn and zeolite to drying rate, content of protein and fat, and to calculate drying rate constant, k. Energy efficiency is calculated based on amount of heat is used to evaporate the water from corn (Q_{evap}) divided by total of heat requirement for the regeneration of zeolite and increase the air temperature (Q_{intr}). This research conducted by mixing zeolite as adsorben with the corn with the certain comparison ratio in the fluidized bed at temperature of 30-50°C. Results of research indicate that the fastest drying rate is marked by biggest water rate degradation that happened at 50°C by zeolite sintetis and ratio of corn and zeolite is 25:75%. Drying rate constant is 0.0303. Protein content degradates from 9.10% to 8.30%, while for the content of fat is constant. Energy efficiency is obtained of 81.23%.

Keywords: adsorption; corn; drying; mixed adsorption drying; zeolite

Abstrak

Jagung (Zea mays L.) merupakan kebutuhan pangan yang penting selain padi dan gandum sehingga penanganan paska panen menjadi prioritas agar kualitas jagung dapat terjaga dengan baik. Proses pengeringan dengan cara adsorpsi-unggun terfluidisasi menjadi suatu pilihan untuk menggantikan sistim pengering jagung konvensional yang boros energi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh suhu udara masuk, jenis zeolite, dan rasio berat jagung dan zeolite terhadap kecepatan pengeringan, kandungan protein dan lemak dan menghitung harga konstanta laju pengeringan, k. Untuk keperluan energi dihitung pula efisiensi energi (η) berdasarkan jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air dari jagung (Q_{evap}) dibagi dengan kebutuhan panas total untuk meregenerasi zeolite dan menaikkan suhu udara (Q_{intr}). Penelitian dilakukan dengan mencampurkan zeolite sebagai adsorben dengan jagung dengan rasio perbandingan tertentu dalam suatu unggun yang difluidisasi menggunakan udara pada suhu percobaan 30-50°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pengeringan paling cepat ditandai oleh penurunan kadar air yang paling besar yang terjadi pada suhu 50°C dengan menggunakan zeolite sintetis dan dengan rasio berat jagung dan zeolite adalah 25% : 75%. Nilai konstanta laju pengeringan diperoleh 0,0303. Kadar protein terjadi penurunan dari 9,10% menjadi 8,30%, sedangkan untuk kandungan lemaknya relatif tetap. Hasil perhitungan diperoleh efisiensi energi (η) sebesar 81,23%.

Kata kunci : adsorpsi; jagung; pengeringan; mixed adsorption drying; zeolit

PENDAHULUAN

Pengeringan adalah proses yang sangat menentukan dalam produksi jagung kering. Kadar air dalam jagung menentukan tingkat keawetan selama

proses penyimpanan dan distribusi ke konsumen. Dengan kadar air 15% atau kurang, maka aktivitas mikroba, bakteri, dan jamur menjadi terhambat sehingga jagung dapat dipasarkan ke tempat-tempat

yang jauh atau dapat disimpan lama (Arianto, 2010; Richana dan Suarni, 2011).

Pada saat ini pengeringan jagung dijalankan dengan dua cara yaitu dengan sinar matahari langsung dan fluidisasi dengan pemanas buatan. Pengeringan model pertama terkendala dengan ketergantungan pada musim, dimana pengeringan hanya dapat dijalankan jika intensitas sinar matahari cukup dan hari tidak hujan. Selain itu hasil proses pengeringan memiliki kandungan air yang tidak seragam tergantung dari kelembaban relatif udara sekitar pada saat proses pengeringan. Adapun pengeringan sistem fluidisasi dengan pemanas buatan terkendala dengan rendahnya energi efisiensi yang masih di bawah 60%, dan terdegradasinya kandungan protein pada jagung terutama jika suhu udara untuk proses pengeringan lebih dari 60°C (Djaeni, 2007; Djaeni, 2008).

Pengering adsorpsi dengan zeolit memiliki potensi untuk mengatasi permasalahan di atas. Pada proses ini, zeolit yang merupakan adsorben tidak beracun akan dicampur dengan jagung dan kemudian dialiri udara hangat pada suhu <math><50^{\circ}\text{C}</math> untuk proses pengeringan. Udara akan menguapkan air dari jagung, dan pada saat yang sama, zeolit akan menyerap air dari udara ini, sehingga kelembaban udara akan terjaga rendah dan proses pengeringan akan berlangsung lebih cepat dan terus menerus sampai kondisi zeolit jenuh tercapai. Proses penyerapan air oleh zeolit ini bersifat eksotermis, sehingga melepaskan panas yang akan tetap mempertahankan temperatur udara pada sekitar 40°C (Laxhuber dkk., 2001; Revilla dkk., 2006). Dengan demikian, *driving force* pada proses ini dijaga tetap tinggi dan proses pengeringan menjadi sangat efisien.

Ide ini sangat urgen sekali untuk diterapkan pada proses pengeringan jagung sehingga diharapkan akan mendapatkan sistem pengeringan yang murah, efisien, serta menghasilkan produk yang bermutu tinggi. Penelitian ini dapat menjawab *research question*, yaitu dapat mengetahui seberapa signifikan sistem pengering zeolit ini dapat meningkatkan *driving force* proses pengeringan jagung. Selain itu juga dapat mengetahui bagaimana gambaran langkah proses yang terjadi antara proses pengeringan dan penyerapan (adsorpsi) yang terjadi secara simultan dalam unggun yang terfluidisasikan. Besarnya transfer masa dan panas antara udara dengan jagung, dan antara udara dengan zeolit serta pengaruh suhu, kelembaban udara, laju alir udara pengering, serta rasio jagung dan zeolit terhadap kecepatan proses pengeringan akan dapat diketahui dengan mudah. Kondisi proses setimbang pada berbagai komposisi campuran jagung-zeolit, laju alir udara dan suhu operasi akan dapat ditentukan dengan baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu udara masuk, jenis zeolit, dan rasio berat jagung dan zeolit terhadap kecepatan pengeringan serta menghitung harga konstanta laju pengeringan, k . Juga diteliti pengaruh suhu udara masuk, jenis zeolit, dan rasio berat jagung dan zeolit

terhadap kandungan protein dan lemak yang terkandung di dalam jagung. Untuk keperluan energi dihitung pula efisiensi energi (η) berdasarkan jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air dari jagung (Q_{evap}) dibagi dengan kebutuhan panas total untuk meregenerasi zeolit dan menaikkan suhu udara (Q_{intr}).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah jagung, zeolit alam, zeolit sintetis, larutan NaOH dan udara kering. Sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat pengering unggun terfluidakan (1) fluidized bed, (2) heater, (3) kompresor, (4) valve, (5) sistem kontrol

Aktivasi Zeolit

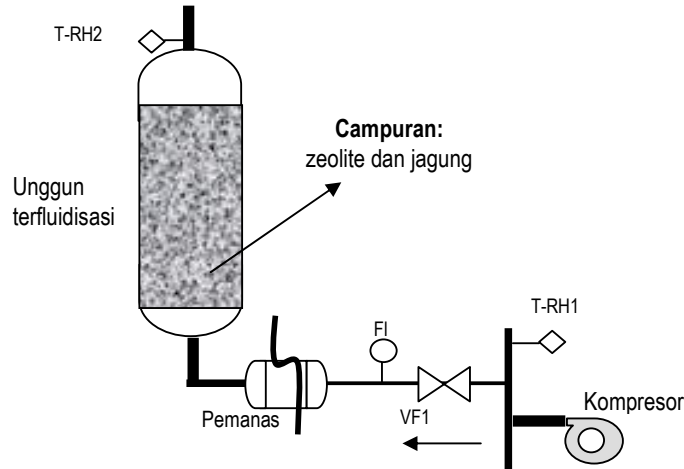
Tujuan dari langkah ini adalah untuk mendapatkan zeolit aktif yang akan digunakan dalam proses pengeringan. Zeolit ditimbang seberat 500 gram kemudian dicampur dengan 2 liter larutan NaOH 25% dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 jam. Dalam proses pencampuran ini Na akan diikat oleh molekul dari zeolit sehingga terbentuklah susunan pori dengan formasi bentuk segi 6 atau 8.

Uji Sorption-Isotherm

Tujuan dari langkah ini adalah untuk mendapatkan data korelasi hubungan kesetimbangan kandungan air antara bahan dengan kelembaban dan temperatur udara. Zeolit atau jagung kering ditimbang sebanyak 100 gram, kemudian diletakkan pada tangki sorption-isoterm. Setiap 12 jam bahan ditimbang, suhu dan kelembaban udara keluar juga diukur. Operasi ini akan dijalankan selama 48 jam atau sampai didapat zeolit dengan berat konstan pada berbagai kondisi.

Uji Performansi Pengeringan

Jagung dan zeolit ditimbang dan dicampur dengan perbandingan tertentu (1:0; 3:1; 1:1; 1:3), lalu dimasukkan dalam unggun fluidisasi (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Pengerinan dengan sistim unggun terfluidisasi (catatan: T-RH1,2 adalah pengukur suhu dan kelembaban udara masuk (1) dan keluar unggun (2), FI adalah pengukur kecepatan alir udara (m/menit), VF1 adalah valve pengatur kecepatan, dan kompresor untuk tranportasi udara)

Sebagai media, udara luar dipanaskan pada suhu tertentu sesuai kondisi operasi masuk (30, 40, dan 50°C), dan dialirkan pada unggun sampai campuran bahan yang ada terfluidakan. Respon yang berupa suhu dan kelembaban udara keluar pengering, berat zeolit dan berat jagung, diukur setiap 10 menit sampai kadar air dalam jagung 15%. Dari data berat jagung dan zeolit, selama waktu operasi dapat ditentukan kecepatan proses pengeringan pada berbagai kondisi sesuai dengan persamaan $\frac{dX}{dt} = -k(X - X_c)$.

Analisa Kualitas Produk

Pada tahap ini, komposisi jagung-zeolit, suhu udara, dan laju udara divariasi dengan respon yang diamati adalah kualitas jagung (protein dan lemak) yang mengacu standar kualitas jagung (SNI 01-3920-1995).

Perhitungan Efisiensi Energi

Perhitungan efisiensi energi dihitung berdasarkan jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air dari bahan jagung dengan kebutuhan panas total untuk meregenerasi zeolit dan menaikkan suhu udara. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\eta = 100\% Q_{\text{evap}} / (Q_{\text{intr}}) \quad (1)$$

Q_{evap} adalah panas yang digunakan untuk menguapkan air dari bahan (kJ) yang diperhitungkan berdasarkan kelembaban udara masuk dan keluar pengering ($q_{v,d}^{\text{in}}, q_{v,d}^{\text{out}}$), selama waktu operasi (t)

$$Q_{\text{evap}} = \int_{t=0}^{t=\text{tf}} F_{a,d} \Delta H_{\text{evap}} (q_{v,d}^{\text{out}} - q_{v,d}^{\text{in}}) dt \quad (2)$$

Harga ($q_{v,d}^{\text{in}}, q_{v,d}^{\text{out}}$) diperoleh dari kelembaban relatif dan suhu udara (T-RH1 and T-RH2), $F_{a,d}$ adalah kecepatan masa udara kering (kg/menit) diperoleh

berdasarkan FI, luas penampang pipa, dan kerapatan udara. Q_{intr} adalah kebutuhan energi (kJ) yang diperoleh sebagai berikut:

$$Q_{\text{intr}} = Q_{\text{HE,02}} + Q_{\text{reg, zeolite}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{pemanas}} = F_{a,d} (c_{p,\text{air}} + q_{v,d}^{\text{in}} c_{p,v}) (T_d - T_{a,\text{ads}}) t_f \quad (4)$$

$$Q_{\text{reg, zeolite}} = 60 \times P_{\text{ov}} \times t_{\text{ov}} \quad (5)$$

$Q_{\text{HE,02}}$ dan $Q_{\text{reg-zeolite}}$ adalah panas untuk menaikkan suhu udara TH1 (kJ), dan untuk meregenerasi zeolite dalam autoclave (kJ); $c_{p,\text{air}}, c_{p,v}$ adalah panas spesifik udara dan uap air (kJ/kg°C); $T_d, T_{a,\text{ads}}$ adalah suhu masuk dan keluar unggun (°C); P_{ov} adalah daya oven (0,78 kwatt); t_{ov} waktu operasi oven (menit). Kebutuhan bahan bakar dapat dihitung (kg) berdasarkan harga Q_{intr} dibagi nilai bakar bahan bakar yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Nilai Tetapan Pengeringan, k

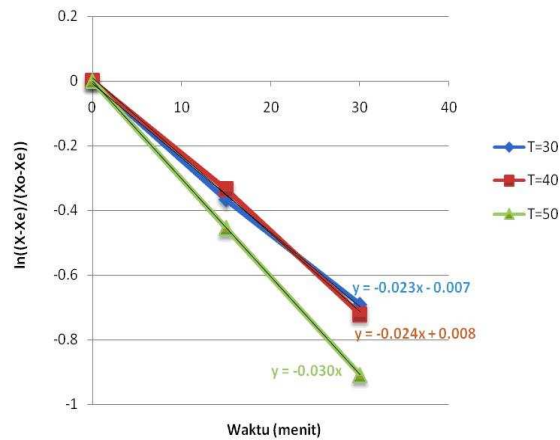
Besarnya laju pengeringan dapat dirumuskan:

$$\frac{dX}{dt} = -k(X - X_c) \quad (6)$$

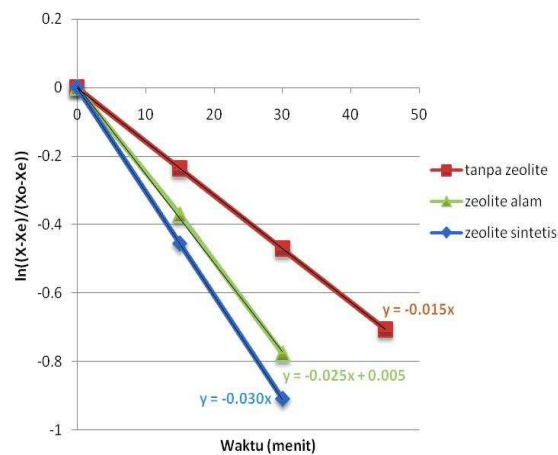
Dengan k merupakan tetapan empiris yang dinamakan tetapan pengeringan (*drying constant*). Nilai kandungan air kesetimbangan (X_c) tergantung pada kondisi udara pengering (a_w) yang dinyatakan dalam korelasi kandungan air setimbang (EMC). Persamaan 1 dapat diselesaikan dengan integrasi analitik hingga diperoleh persamaan:

$$\frac{X - X_c}{X_0 - X_c} = \exp(-kt) \quad (7)$$

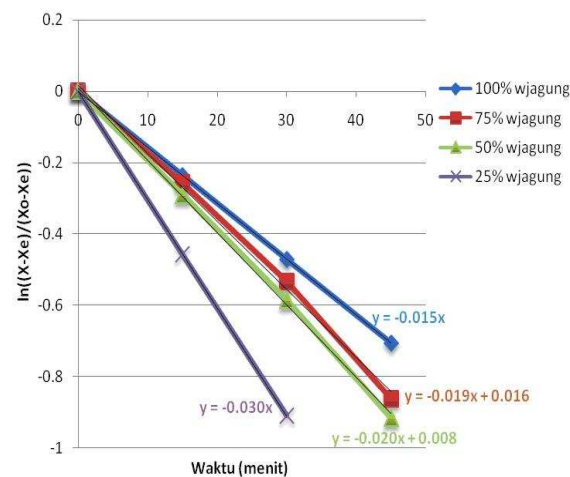
Nilai tetapan pengeringan ini tergantung pada kadar air bahan dan kondisi udara pengering. Dilihat dari Gambar 2, 3, dan 4 harga konstanta laju pengeringan yang optimum diperoleh pada variabel suhu 50°C dan rasio 25% berat jagung dan zeolit sintetis yaitu 0,0303.



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap konstanta laju pengeringan pada variabel rasio 25% berat jagung dan zeolit sintetis

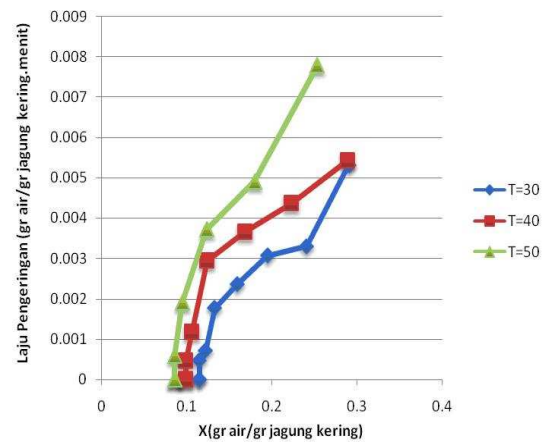


Gambar 3. Pengaruh jenis zeolit terhadap konstanta laju pengeringan pada variabel suhu 50°C dan rasio 25% berat jagung

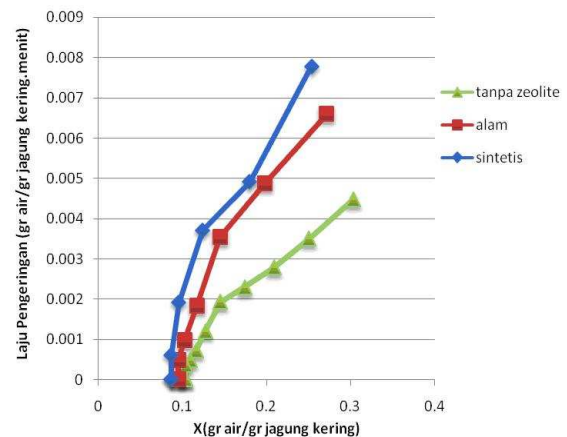


Gambar 4. Pengaruh rasio berat jagung dan zeolit terhadap konstanta laju pengeringan pada variabel zeolit sintetis dan suhu 50°C

Gambar 5, 6, dan 7 menunjukkan pengaruh suhu terhadap laju pengeringan. Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar suhu maka laju pengeringan juga semakin besar. Gambar 6 menunjukkan laju pengeringan yang paling besar pada variabel zeolit sintetis. Hal ini karena zeolit sintetis memiliki ruang kosong pada pori yang lebih banyak daripada zeolit alam dan air yang terserap oleh zeolit sintetis akan terikat kuat, sehingga air yang teruapkan lebih banyak. Oleh karena itu, laju pengeringan jagung pada variabel zeolit sintetis lebih besar dibandingkan dengan variabel jenis zeolit lainnya.

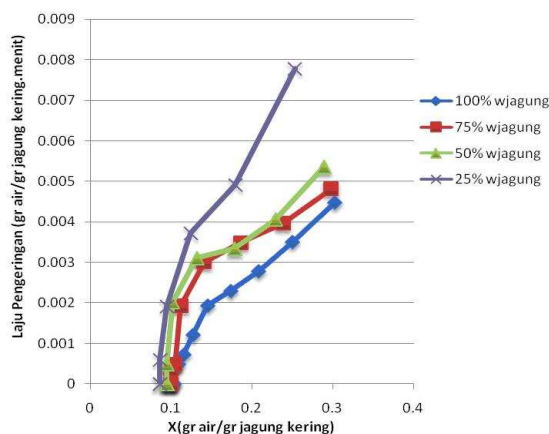


Gambar 5. Pengaruh suhu terhadap laju pengeringan pada zeolit sintetis



Gambar 6. Pengaruh jenis zeolit terhadap laju pengeringan

Untuk variabel rasio berat jagung dan zeolit ditunjukkan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut diperoleh bahwa laju pengeringan yang paling besar terjadi pada variabel rasio 25% berat jagung. Pada variabel ini, jumlah zeolit yang digunakan banyak sehingga banyak pula uap air di udara yang terserap oleh zeolit. Karena *relative humidity* merupakan fungsi dari suhu dan kadar air, maka semakin sedikit jumlah kadar air di dalam udara menyebabkan *relative humidity* udara semakin rendah.



Gambar 7. Pengaruh rasio berat jagung dan zeolit terhadap laju pengeringan pada zeolit sintetis

Oleh sebab itu semakin banyak pula air dari jagung yang teruapkan ke udara dan kemudian teradsorpsi oleh zeolit. Oleh karena itu, pada variabel ini pencapaian kadar air setimbang (X_e) terjadi lebih cepat. Dengan kata lain, semakin banyak jumlah zeolit yang digunakan maka penurunan kandungan air dalam bahan akan semakin cepat. Dari penjelasan di atas, laju pengeringan yang paling baik diperoleh pada variabel 50°C, rasio 25% berat jagung, dan zeolit sintetis.

Analisis Kadar Protein

Analisa kadar protein dilakukan pada pengeringan menggunakan zeolit alam, zeolit sintetis dan tanpa zeolit terhadap jagung dengan variabel suhu dan rasio jagung dan zeolit. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Pengaruh suhu dan rasio jagung-zeolit terhadap kadar protein di dalam jagung

Jenis Zeolit	Suhu (°C)	Rasio Jagung:Zeolit	Kadar Protein (%)
Tanpa Zeolit	30	100:0	9,10
	40	100:0	8,90
	50	100:0	8,60
Zeolit Sintetis	30	75:25	8,90
		50:50	8,70
		25:75	8,50
	40	75:25	8,70
		50:50	8,40
		25:75	7,90
	50	75:25	9,10
		50:50	7,90
		25:75	8,30
Zeolit Alam	30	75:25	8,90
		50:50	7,90
		25:75	8,80
	40	75:25	8,80
		50:50	8,60
		25:75	8,40
	50	75:25	8,40
		50:50	8,10
		25:75	7,90

Pengaruh suhu dan rasio jagung-zeolit terhadap kadar protein di dalam jagung menunjukkan bahwa pada variabel suhu 50°C, rasio 25% berat jagung dan 75% zeolit sintetis terjadi penurunan kadar protein dari 9,10% menjadi 8,30%.

Perhitungan efisiensi energi (η) dihitung berdasarkan jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air dari jagung (Q_{evap}) dibagi dengan kebutuhan panas total untuk meregenerasi zeolit dan menaikkan suhu udara (Q_{intr}). Hasil perhitungan diperoleh efisiensi energi (η) sebesar 81,23%.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai konstanta laju pengeringan yang optimum diperoleh pada variabel suhu 50°C dan rasio 25% berat jagung dan zeolite sintetis yaitu sebesar 0,0303. Laju pengeringan jagung pada variabel zeolit sintetis lebih besar dibandingkan dengan variabel jenis zeolit alam. Selain itu pengaruh suhu dan rasio jagung-zeolit terhadap kadar protein dan lemak di dalam jagung menunjukkan bahwa pada variabel suhu 50°C, rasio 25% berat jagung dan 75% zeolit sintetis terjadi penurunan kadar protein dari 9,10% menjadi 8,30%. Dari hasil perhitungan diperoleh efisiensi energi (η) sebesar 81,23%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DP2M Ditjen Dikti) Kementerian Pendidikan Nasional Tahun Anggaran 2011 melalui DIPA Nomor: 0596/023-04.2-16/13/2011 tanggal 20 Desember 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Arianto, M., 4,5 Miliar orang konsumsi jagung, www.batukar.info (accessed: August 27, 2010)
- Bussmann, P.J.T., (2007), Energy and product benefits with sorption drying, *NWGD-symposium*, 15th November; Utrecht, The Netherlands
- Djaeni, M., Bartels, P., Sanders, J., van Straten, G., and van Boxtel, A.J.B., (2007), Process integration for food drying with air dehumidified by zeolites, *Drying Technology*, 25(1), pp. 225-239
- Djaeni, M., (2008), Energy Efficient Multistage Zeolite Drying for Heat Sensitive Products, *Doctoral Thesis*, Wageningen University, The Netherlands, ISBN:978-90-8585-209-4,
- Djaeni, M., Bartels P.V., Sanders J.P.M., van Straten, G., and van Boxtel, A.J.B., (2008), CFD for Multistage Zeolite Dryer Design, *Journal of Drying Tech.*, 26 (4)
- Gorbach, A., Stegmaier, M., and Eigenberger, G., (2004), Measurement and modeling of water vapor

adsorption on zeolite 4A-Equilibria and kinetics, *Adsorption*, 10, pp. 29-46

Kudra, T., and Mujumdar, A.S., (2002), *Advanced Drying Technology*, Marcel Dekker Inc., New York, USA

Laxhuber P.M, Schmidt R., and Grupp C., (2001), Air ventilated heating and cooling based on zeolite technology, *RTO HFM Symposium*, 8-21 October, Dresden, Germany

Ratti, C., (2001), Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review, *Journal of Food Engineering*, vol. 49, pp. 311-319

Revilla, G.O., Velázquez, T.G., Cortés, S.L., and Cárdenas, S.A., (2006), Immersion drying of wheat using Al-PILC, zeolite, clay, and sand as particulate media, *Drying Technology*, 24(8), pp. 1033-1038

Richana, N. dan Suarni, Teknologi pengolahan jagung, www.balitsereal.libang.deptan.go.id (accessed: February 7, 2011)